



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06151601 A**(43) Date of publication of application: **31.05.94**

(51) Int. Cl.

**H01L 21/84**  
**H01B 3/00**  
**H01L 21/20**

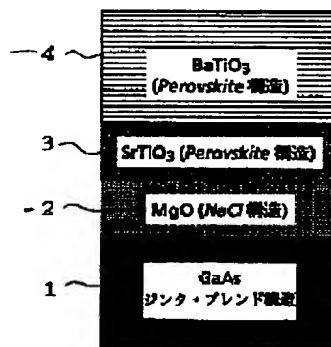
(21) Application number: **04319228**(71) Applicant: **FUJI XEROX CO LTD**(22) Date of filing: **05.11.92**(72) Inventor: **NASHIMOTO KEIICHI**(54) **ORIENTED FERROELECTRIC THIN FILM**

(57) Abstract:

**PURPOSE:** To produce high-performance nonvolatile memories, capacitors or light modulation elements on a semiconductor substrate by forming a c-axis oriented epitaxial or oriented ferroelectric thin film on a semiconductor single crystal (100) substrate.

**CONSTITUTION:** In the oriented ferroelectric thin film, two-layer structured epitaxial or oriented buffer layers 2 and 3 are formed on a semiconductor single crystal (100) substrate, and an epitaxial or oriented perovskite  $ABO_3$  type ferroelectric thin film 4 is formed on top of it. The epitaxial or oriented buffer layer consists of the perovskite  $ABO_3$  type thin film formed on an MgO thin film. From the crystallographical point of view, the relation among the single crystal substrate, buffer layers and perovskite  $ABO_3$  type ferroelectric thin film is  $ABO_3$  (001)// $ABO_3$  (100)//MgO (100)//semiconductor single crystal (100).

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&amp;Japio



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-151601

(43)公開日 平成 6 年(1994) 5 月31日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/84		9171-4M		
H 0 1 B 3/00	F	9059-5G		
H 0 1 L 21/20		9171-4M		

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平4-319228

(22)出願日 平成 4 年(1992)11月 5 日

(71)出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社  
東京都港区赤坂三丁目 3 番 5 号

(72)発明者 梨本 恵一

神奈川県南足柄市竹松1600番地 富士ゼロ  
ックス株式会社内

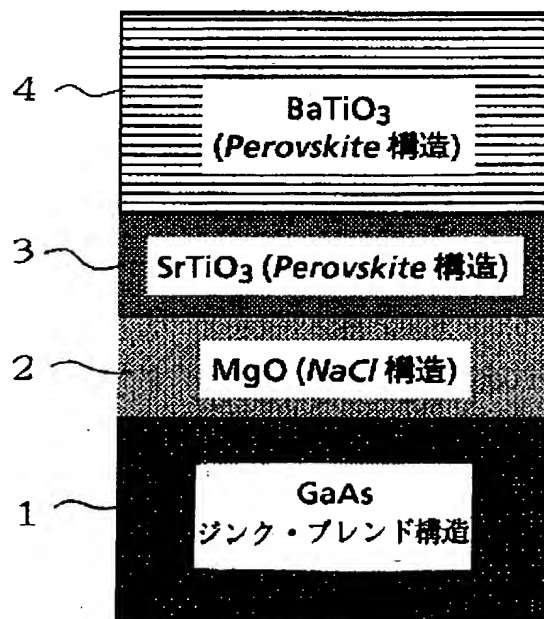
(74)代理人 弁理士 渡部 剛

(54)【発明の名称】 配向性強誘電体薄膜

(57)【要約】

【目的】 半導体単結晶 (100) 基板上に c 軸配向のエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜を形成することを目的とし、本発明により高機能の不揮発性メモリーやキャパシター、または光変調素子などの素子を半導体基板上に作製することができる。

【構成】 配向性強誘電体薄膜は、半導体単結晶 (100) 基板 1 上に、二層構造からなるエピタキシャルまたは配向性のバッファ層 2, 3 が形成され、さらにその上にエピタキシャルまたは配向性のペロブスカイト ABO<sub>3</sub> 型強誘電体薄膜 4 が形成されている。前記エピタキシャルまたは配向性のバッファ層は、MgO 薄膜上にペロブスカイト ABO<sub>3</sub> 型薄膜が形成された構造からなる。そして単結晶基板とバッファ層およびペロブスカイト ABO<sub>3</sub> 型強誘電体薄膜の結晶学的関係は、ABO<sub>3</sub> (001) // ABO<sub>3</sub> (100) // MgO (100) // 半導体単結晶 (100) である



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体単結晶(100)基板上に、二層構造からなるエピタキシャルまたは配向性のバッファ層が形成され、さらにその上にエピタキシャルまたは配向性のペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜が形成されていることを特徴とする配向性強誘電体薄膜。

【請求項2】 前記エピタキシャルまたは配向性のバッファ層が、 $\text{MgO}$ 薄膜上にペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜が形成された構造からなる請求項1記載の配向性強誘電体薄膜。

【請求項3】 前記エピタキシャルまたは配向性のバッファ層であるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜が、前記上層であるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜の $c$ 軸よりも $a$ 軸に近い格子定数を持つことを特徴とする請求項1記載の配向性強誘電体薄膜。

【請求項4】 前記単結晶基板とバッファ層およびペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜の結晶学的関係が、 $\text{ABO}_3(001) // \text{ABO}_3(100) // \text{MgO}(100) // \text{半導体単結晶}(100)$ である請求項1記載の配向性強誘電体薄膜。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の技術分野】 この発明は、例えば、エピタキシャルまたは配向性の $\text{MgO}$ と $\text{SrTiO}_3$ の二重層をバッファ層として用い、半導体単結晶(100)基板上にエピタキシャルまたは $c$ 軸配向性の強誘電体薄膜を形成したものであって、不揮発性メモリーやキャパシター、または光変調素子などを半導体基板上に作製する場合に使用することができる配向性強誘電体薄膜に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、酸化物強誘電体薄膜は強誘電体のもつ強誘電性、圧電性、焦電性、電気光学効果などの多くの性質により不揮発性メモリーを始めとして、表面弾性波素子、赤外線焦電素子、音響光学素子、電気光学素子など多くの応用が期待されている。これらの応用のうち、薄膜光導波路構造での低光損失化と単結晶並みの分極特性や電気光学効果を得るために単結晶薄膜の作製が不可欠である。そのため、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)_{1-x/4}\text{O}_3$  (PLZT)、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ などのエピタキシャル強誘電体薄膜が、RFマグネトロン・スパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、レーザー・アブレーション、有機金属化学蒸着(MOCVD)などの方法によって酸化物単結晶基板に形成することが数多く試みられている。

【0003】 しかしながら、半導体素子との集積化のためには、半導体基板上に強誘電体薄膜を作製することが必要である。半導体基板上における強誘電体薄膜のエピタキシャル成長は、高成長温度、半導体と強誘電体との間の相互拡散、半導体の酸化などの為に難しい。さら

に、 $\text{GaAs}$ 基板上への強誘電体薄膜のエピタキシャル成長は、次の理由により難しい。すなわち、 $\text{GaAs}$ は $400^\circ\text{C}$ 以上では表面の $\text{As}$ が減少し、 $690^\circ\text{C}$ 以上では $\text{As}$ 、雰囲気なしでは $\text{As}$ と $\text{Ga}$ の一層ずつの昇華が始まることが知られている。また、 $\text{GaAs}$ 基板上への強誘電体薄膜作製の報告は極めて数少なく、PLZTが $\text{GaAs}$ 基板上に成長した際には、 $\text{Pb}$ の $\text{GaAs}$ への拡散が検出されている。これらの理由のため、低温で半導体基板上でエピタキシャル成長し、強誘電体薄膜のエピタキシャル成長を助け、かつ拡散バリアとしても働くキャッピング層をバッファ層として半導体基板上に形成することが必要である。さらに、強誘電体と半導体との間に絶縁体を形成したFET素子においては、上記のようなバッファ層が存在すれば、強誘電体の分極時の半導体からの電荷の注入を防ぐことができ、強誘電体の分極状態を維持することが容易となる。また、強誘電体の屈折率は一般に $\text{GaAs}$ よりも小さいが、強誘電体よりも小さい屈折率をもつバッファ層が得られれば、半導体レーザー光を強誘電体薄膜光導波路中に閉じ込めることが可能になり、光変調素子の半導体レーザー上への作製や光集積回路を $\text{Si}$ 半導体集積回路上に作製することが可能になる。

【0004】 これに対し、 $\text{Si}(100)$ 単結晶上に $\text{MgAl}_2\text{O}_4(100)$ もしくは $\text{MgO}(100)$ をバッファ層とし、エピタキシャル成長させた基板上に強誘電体化合物をエピタキシャル成長させることが特開昭61-185808公報に示されている。ところが、これらの格子定数は、後記表1に示すように、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ が8.083オングストローム( $1/2$ が4.042オングストローム)、 $\text{MgO}$ が4.213オングストロームであり、したがって、代表的な強誘電体である $\text{PbTiO}_3$ (格子定数 $a=3.899$ オングストローム、 $c=4.153$ オングストローム)や $\text{BaTiO}_3$ (格子定数 $a=3.994$ オングストローム、 $c=4.038$ オングストローム)を、これらの上に $c$ 軸配向でエピタキシャル成長させることは、これら $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ もしくは $\text{MgO}$ の格子定数が強誘電体の $a$ 軸の格子定数よりも $c$ 軸の格子定数に近いが、両軸の格子定数の中間の値を持つために難しかった。そのため、 $\text{Si}(100)$ 単結晶基板上のエピタキシャル $\text{MgAl}_2\text{O}_4(100)$ もしくは $\text{MgO}(100)$ 上に $\text{PbTiO}_3$ や $\text{BaTiO}_3$ などを成長させると、これら強誘電体の(100)面と(001)面が混在して基板に対して平行に配向した、すなわち $a$ 軸配向と $c$ 軸配向結晶粒が混在した配向膜しか得ることができなかった。

## 【0005】

## 【表1】

バッファ層としての $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 、 $\text{MgO}$ と強誘電体である $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ の格子定数、およびそれらの格子不整合度の関係

結晶	構造	構造	格子定数 (Å)	$\text{BaTiO}_3$		$\text{PbTiO}_3$	
				a (Å)	c (Å)	a (Å)	c (Å)
$\text{SrTiO}_3$	ペロブスカイト	立方	3.905	3.994	4.038	3.899	4.153
$\text{MgAl}_2\text{O}_4$	スピネル	立方	8.083(1/2) =4.042	-1.2%	-0.1%	-3.5%	2.8%
$\text{MgO}$	NaCl	立方	4.213	-5.2%	-4.2%	-7.5%	-1.4%

【0006】それに対し、本発明者等は、 $\text{MgO}$ を半導体(100)基板上へ(100)エピタキシャル成長させることをすでに提案した。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来の技術では、半導体基板上にc軸配向のエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜を形成することは困難であった。したがって、本発明は、この問題点を解決することを目的とするものである。すなわち、本発明の目的は、半導体単結晶(100)基板上に、c軸配向のエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜を形成した配向性強誘電体薄膜を提供することにある。本発明の他の目的は、高機能の不揮発性メモリーやキャパシター、または光変調素子等の素子を半導体基板上に作製する場合に利用可能な配向性強誘電体薄膜を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明者等は、上記した半導体(100)基板上へ $\text{MgO}$ をエピタキシャル成長させる技術について、さらに検討を進めた結果、ペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜であって、格子定数が $\text{PbTiO}_3$ や $\text{BaTiO}_3$ などのc軸よりa軸の格子定数に近い、例えば、上記表1に示すように3.905オングストロームである $\text{SrTiO}_3$ を(100)エピタキシャル成長させることにより、 $\text{PbTiO}_3$ や $\text{BaTiO}_3$ などの強誘電体薄膜のa軸が $\text{SrTiO}_3$ 層の格子定数に優先的に整合し、これら強誘電体薄膜をc軸配向である(001)エピタキシャル成長できることを見出し、本発明を完成した。

【0009】本発明の配向性強誘電体は、薄膜半導体単結晶(100)基板上に二層構造からなるエピタキシャルまたは配向性のバッファ層が形成され、さらにその上にエピタキシャルまたは配向性のペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜が形成されていることを特徴とする。より具体的には、本発明において、前記エピタキシャルまたは配向性のバッファ層は $\text{MgO}$ 薄膜上にペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜が形成された構造からなっている。また、本発明において、前記エピタキシャルまたは配向性のバッファ層であるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜は、前記上層であるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜のc軸よりもa軸に近い格子定数を持っている。そして、前記単結晶基板とバッファ層およびペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜の結晶学的関係は、 $\text{ABO}_3$ (001)// $\text{SrTiO}_3$ (100)// $\text{MgO}$ (100)//半導体単結晶(100)である。

【0010】以下、本発明について詳細に説明する。本発明において、半導体単結晶(100)基板としては、単体半導体であるSi、Ge、ダイヤモンド等、III-V系の化合物半導体であるAlAs、AlSb、AlP、GaAs、GaSb、InP、InAs、InSb、AlGaP、AlInP、AlGaAs、AlInAs、AlAsSb、GaInAs、GaInSb、GaAsSb、InAsSb等、II-VI系の化合物半導体であるZnS、ZnSe、ZnTe、CaSe、CdTe、HgSe、HgTe、CdS等より選ばれる半導体単結晶(100)が使用される。

【0011】半導体単結晶(100)基板上には、二層構造からなるエピタキシャルまたは配向性のバッファ層が形成される。具体的には、(100)エピタキシャルまたは配向性の $\text{MgO}$ バッファ層が形成され、その上に(100)エピタキシャルまたは配向性であり、上層であるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜のc軸よりもa軸に近い格子定数を持つペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜バッファ層、望ましくは $\text{SrTiO}_3$ よりなる層が形成される。上記 $\text{MgO}$ およびペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型薄膜バッファ層は、電子ビーム蒸着、フラッシュ蒸

着、イオン・プレーティング、Rf-マグネトロン・スパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、レーザー・アブレーション、モレキュラー・ビーム・エピタキシー(MBE)、化学蒸着(CVD)、プラズマCVD、有機金属化学蒸着(MOCVD)などより選ばれる気相成長法およびゾルゲル法などのウェット・プロセスにより作製することができる。

【0012】上記バッファ層の上には、さらに、c軸配向である(001)エピタキシャルまたは配向性のペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜が形成される。具体的には、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)_{1-x/4}\text{O}_3$ (PLZT)、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ 等の強誘電体薄膜を形成する。その作製方法は、上記バッファ層の作製に関して記述したと同様な方法が採用できる。

【0013】上記単結晶基板、バッファ層およびペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜の結晶学的関係は、例えば、 $\text{ABO}_3$ (001)// $\text{ABO}_3$ (100)// $\text{MgO}$ (100)//半導体単結晶(100)である。例えば、この際の結晶学的関係は、例えばGaAs上にMgOおよび $\text{SrTiO}_3$ よりなる二層構造のバッファ層および $\text{BaTiO}_3$ 薄膜が形成された配向性強誘電体薄膜についての結晶学的関係は、 $\text{BaTiO}_3$ (001)// $\text{SrTiO}_3$ (100)// $\text{MgO}$ (100)//GaAs(100)、面内方位 $\text{BaTiO}_3$ [010]// $\text{SrTiO}_3$ [001]// $\text{MgO}$ [001]//GaAs[001]であり、正方晶系の強誘電体の分極方向が基板面に対して垂直な構造を作っている。

【0014】

【作用】本発明の配向性強誘電体薄膜は、上記の構成を有するから、単結晶半導体(100)基板上におけるペロブスカイト $\text{ABO}_3$ 型強誘電体薄膜のc軸配向成長が、強誘電体薄膜のエピタキシャル成長を助け、かつ拡散バリアとしても働く、バッファ層によって可能になるものである。さらに、強誘電体薄膜の配向が制御できるために大きな残留分極値や大きな電気光学定数などを得ることができ、強誘電体と半導体との間に絶縁体を形成したFET素子においては、強誘電体の分極時の半導体からの電荷の注入を防ぐことができ、強誘電体の分極状態を維持することが容易となる。また、強誘電体の屈折率は一般に半導体よりも小さいが、強誘電体よりも小さい屈折率をもつMgO層によって半導体レーザー光を強誘電体薄膜光導波路中に閉じ込めることが可能になり、光変調素子のGaAs系半導体レーザー上への作製や光集積回路をSi半導体集積回路上に作製することが可能になる。

【0015】

【実施例】

実施例1

GaAs基板へのエピタキシャル層の形成を、ターゲッ

ト表面をUVレーザー・パルスにより瞬間的に加熱し蒸着を行うエキシマ・レーザー・デポジション法によって行った。レーザーはXeClエキシマ・レーザー(波長308nm)を用い、パルス周期4Hz、パルス長17ns、エネルギー130mJ(ターゲット表面でのエネルギー密度1.3J/cm<sup>2</sup>)の条件とした。ターゲットと基板の距離は50mmである。ターゲットは $\text{PbTiO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、またMgOは波長308nmに吸収を持たないために金属Mgを用いた。MgOは10eV以上の高い結合エネルギーを持っているため、 $\text{O}_2$ を成膜中に導入することによってMgは容易に酸化される。基板はハロゲン・ランプによって加熱した。GaAs基板(立方晶、ジंक・ブレンド構造、 $a=5.653$ オングストローム)としては、n型、(100)±0.2°、6×6mmのウエハーを用いた。これらの基板は溶剤洗浄の後、 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 系の溶液にてエッチングを行った。さらにこの基板を脱イオン水とエタノールでリンスし、最後に窒素流下でエタノールによるスピン乾燥を行った。エッチング後に脱イオン水リンスで形成されたGaAs基板表面の単層酸化膜は、パッシベーション層として働き、また582°Cで解離するという報告がある。従って、スピン乾燥後に基板を直ちにデポジション・チャンバーに導入し、一定温度、バックグラウンド圧力 $3 \times 10^{-7}$ Torrにて加熱を行ってGaAs表面の不動体層の脱離(昇華)を図り、続いて40~400オングストロームのMgOの成膜を行った。

【0016】X線回折によって解析すると成膜したMgO(立方晶、NaCl構造、 $a=4.213$ オングストローム)は広い範囲の条件にて(100)面単一配向のエピタキシャル膜となったが、250~450°C、 $5 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4}$ Torrの条件にて良質な薄膜となった。MgOとGaAsの面内結晶方位の関係を同定するために、X線回折ファイ・スキャンを行った。立方晶において(100)面に対して45°の角度をもつ(202)面についてのファイ・スキャンは、MgO(100)/GaAs(100)のMgOに対して90°の回転周期をもつシャープなピークを示し、この位置はGaAsのピーク位置に一致した。これらのことから、MgOとGaAsとの結晶学的関係は、格子不整合25.5%となるにもかかわらず、MgOとGaAsの結晶方位の関係は、MgO(100)//GaAs(100)、面内方位MgO[001]//GaAs[001]であることが分かった。

【0017】MgOとGaAsの界面を高分解能透過型電子顕微鏡にて観察すると、MgO-GaAs界面ではMgO:GaAs=4:3の格子整合による二次元超格子が形成されており、界面には二次層などの生成はなく急峻な界面であった。4:3の格子整合を考えると、MgO:GaAs=4:3では0.7%となり、大きな格子不整合を持つにもかかわらず、膜内応力が緩和されて

MgO [001] // GaAs [001] のエピタキシャル成長が実現されたと考えられる。

[0018] さらに、600~800℃、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$  Torr  $O_2$  の条件で、MgOバッファ層上へその場成長した膜厚200~1000オングストロームのSrTiO<sub>3</sub> (立方晶、ペロブスカイト構造、 $a=3.905$ オングストローム) は、MgOに対して格子不整合性が7.3%あるがエピタキシャル成長をした。図1に示すX線回折パターンとファイ・スキャンによって同定したSrTiO<sub>3</sub>とMgO/GaAsの結晶方位の関係は、図2に示すようにSrTiO<sub>3</sub> (100) // MgO (100) // GaAs (100)、SrTiO<sub>3</sub> [001] // MgO [001] // GaAs [001] であった。なお、図2において、1はGaAsよりなる単結晶基板 (ジंक・ブレンド構造)、2はMgO薄膜 (NaCl構造)、3はSrTiO<sub>3</sub> 薄膜 (ペロブスカイト構造) である。

[0019] 一方、代表的な強誘電体であるBaTiO<sub>3</sub> (正方晶、ペロブスカイト構造、 $a=3.994$ オングストローム、 $c=4.038$ オングストローム) とGaAs (立方晶、ジंक・ブレンド構造、 $a=5.653$ オングストローム) との格子常数は大きく異なるが、BaTiO<sub>3</sub> (001) 面とGaAs (100) 面の面内45°回転、すなわちBaTiO<sub>3</sub> [110] // GaAs [001] の方位の関係を考えると、格子不整合性はわずかに0.1%となる。そこでまず、BaTiO<sub>3</sub> のGaAs上直接成膜を行った。基板温度は700℃、パルス数は2500とし、最初の100パルスの間の $O_2$  圧をバックグラウンド圧力から $3 \times 10^{-2}$  Torr の範囲で成膜した後、 $1.2 \times 10^{-3}$  Torr  $O_2$  にて成膜を続けた。最初の100パルスの間の $O_2$  圧力に依存してBaTiO<sub>3</sub> の結晶性は変化し、最もXRDピーク強度の強かったBaTiO<sub>3</sub> は、700℃、 $0.5 \times 10^{-3}$  Torr  $O_2$  にて成膜したものであったが、(110) または (101) 配向の多結晶膜であった。このように、エピタキシーは単純な格子整合性によっては決まらなかった。

[0020] BaTiO<sub>3</sub> のGaAs上での直接成長ではエピタキシーは前記のようにみられなかったが、600~800℃、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$  Torr  $O_2$  の条件で、SrTiO<sub>3</sub> /MgOバッファ層上へその場成長した膜厚500~2000オングストロームのBaTiO<sub>3</sub> は、全てエピタキシャル成長をした。X線回折パターンを解析するとBaTiO<sub>3</sub> は完全なc軸配向性であり、ファイ・スキャンによって同定したBaTiO<sub>3</sub> とSrTiO<sub>3</sub> /MgO/GaAsの結晶方位の関係は、BaTiO<sub>3</sub> (001) // SrTiO<sub>3</sub> (100) // MgO (100) // GaAs (100)、BaTiO<sub>3</sub> [010] // SrTiO<sub>3</sub> [001] // MgO [001] // GaAs [001] であった。

[0021] 図3は、上記の方法によって作製されたBaTiO<sub>3</sub> /SrTiO<sub>3</sub> /MgO/GaAsの多層構造よりなる強誘電体薄膜の模式的断面図であり、1はGaAsよりなる単結晶基板 (ジंक・ブレンド構造)、2はMgO薄膜 (NaCl構造)、3はSrTiO<sub>3</sub> 薄膜 (ペロブスカイト構造)、4はBaTiO<sub>3</sub> 薄膜 (ペロブスカイト構造) である。

[0022] 走査型電子顕微鏡によって観察したBaTiO<sub>3</sub> の表面は、極めて平滑であった。さらに原子間力顕微鏡によってBaTiO<sub>3</sub> の表面を $1 \times 1 \mu m^2$  の範囲について観察すると、光学研磨をしたガラスなみの平滑性を持っていることがわかった。このことからこのBaTiO<sub>3</sub> 膜はその表面平滑性においては、光導波路として良好な低光減衰特性につながることが期待できる。また、Cr/2000オングストローム-BaTiO<sub>3</sub> /300オングストローム-SrTiO<sub>3</sub> /200オングストローム-MgO/GaAsのキャパシター構造においてBaTiO<sub>3</sub> の分極特性を測定すると、この構造によるP-E特性はヒステリシス・ループを示し、BaTiO<sub>3</sub> は構造解析によって推定したように分極軸が単結晶GaAs基板に垂直に配向した強誘電相 (正方晶) であることが分かった。

#### [0023] 実施例2

SiへのエピタキシャルMgOバッファ層の形成は、上記実施例1とほぼ同様に行った。Si基板はn型またはp型、(100) 面、6×6mmのウエハーを用いた。これらの基板を先の実施例1とほぼ同様に溶剤洗浄の後、HFによるエッチング、乾燥を行い、基板を直ちにデポジション・チャンバーに導入し、一定温度、バックグラウンド圧力 $3 \times 10^{-7}$  Torr、500℃以上にて加熱を行ってSi表面のH不動態層の脱離 (昇華) を図った。続いてMgOを200~600℃、 $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$  Torr  $O_2$  の条件にて約300オングストロームのMgOの成膜を行い、MgOとSiの面内結晶方位の関係が、MgO (100) // Si (100)、MgO [001] // Si [001] であるエピタキシャル薄膜を得た。また、600~800℃、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$  Torr  $O_2$  の条件でMgOバッファ層上へ膜厚200~1000オングストロームのSrTiO<sub>3</sub> をその場エピタキシャル成長し、SrTiO<sub>3</sub> (100) // MgO (100) // Si (100)、SrTiO<sub>3</sub> [001] // MgO [001] // Si [001] の結晶方位の関係を得た。

[0024] 続いて、600~800℃、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-2}$  Torr  $O_2$  の条件でSrTiO<sub>3</sub> /MgOバッファ層上へその場成長した膜厚1000~2000オングストロームのPbTiO<sub>3</sub> は、c軸配向成長をした。X線回折パターンによって同定したPbTiO<sub>3</sub> とSrTiO<sub>3</sub> /MgO/Siの結晶方位の関係は、PbTiO<sub>3</sub> (001) // SrTiO<sub>3</sub> (100) // M

gO (100) // Si (100)、PbTiO<sub>3</sub> [010] // SrTiO<sub>3</sub> [001] // MgO [001] // Si [001] であった。

【0025】走査型電子顕微鏡によって観察したPbTiO<sub>3</sub>の表面は、光導波路として良好な低光減衰特性につながることが期待できる極めて平滑なものであった。また、同様にPb<sub>1-x</sub>La<sub>x</sub>(Zr<sub>1-x/4</sub>Ti<sub>3/4</sub>)O<sub>3</sub>(PLZT)もエピタキシャルMgOバッファ層を用いることによりSiへエピタキシャル成長させることができた。なお、バッファ層ペロブスカイトABO<sub>3</sub>型薄膜は、上層のペロブスカイトABO<sub>3</sub>型強誘電体薄膜のc軸よりもa軸に近い格子定数を持てばよい。また、実施例においては結晶方位の関係としてABO<sub>3</sub>(001) // SrTiO<sub>3</sub>(100) // MgO(100) // 半導体(100)、ABO<sub>3</sub>[010] // SrTiO<sub>3</sub>[001] // MgO[001] // 半導体[001]が得られたが、結晶方位の関係はこれに限定されるものではなく、結晶方位の関係がABO<sub>3</sub>(001) // ABO<sub>3</sub>(100) // MgO(100) // 半導体(100)のエピタキシャルまたは配向性が満たされればよい。

【0026】さらに、本実施例ではエキシマ・レーザー・デポジション法を用いたが、成膜プロセスはこれに限定されるものではなく、Rf-マグネトロン・スパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、電子ビーム蒸着、フラッシュ蒸着、イオン・プレーティング、モレキュラー・ビーム・エピタキシ(MBE)、イオン化クラスター・ビーム・エピタキシ、化学気相成長法(CVD)、有機金属化学気相成長法(MOCVD)、プラズ

マCVDなどの気相成長法およびゾルゲル法などのウェット・プロセスが同様に本発明の構造の製造に有効である。

【0027】

【発明の効果】本発明においては、単結晶半導体(100)基板上に、例えば、MgO薄膜およびペロブスカイトABO<sub>3</sub>型薄膜よりなる二層構造からなるエピタキシャルまたは配向性のバッファ層を設けたから、その上に形成されるペロブスカイトABO<sub>3</sub>型強誘電体薄膜はc軸配向のエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜となる。したがって、高機能の不揮発性メモリ、キャパシター、FET素子として、利用することができる。さらに、強誘電体よりも小さい屈折率をもつMgO層によって半導体レーザー光を強誘電体薄膜光導波路中に閉じ込めることが可能になり、本発明を利用して、光変調素子をGaAs系半導体基板上に作製したり、光集積回路をSi半導体集積回路上に作製することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 単結晶GaAs基板上SrTiO<sub>3</sub>/MgO二重薄膜のX線回折図。

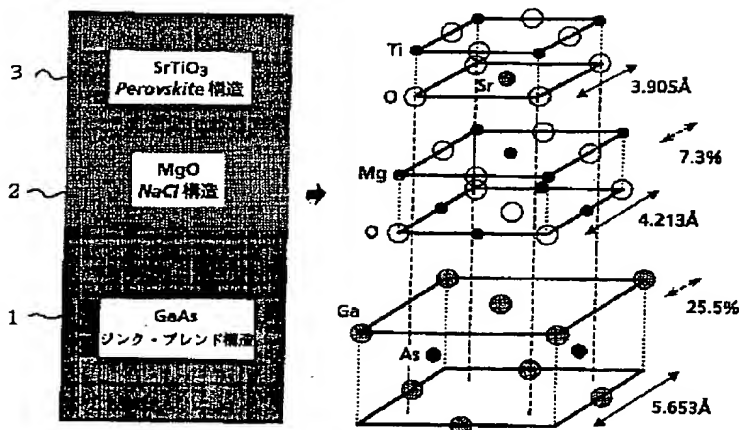
【図2】 エピタキシャルSrTiO<sub>3</sub>薄膜およびMgO薄膜の単結晶GaAs基板に対する結晶方位の関係を示す説明図。

【図3】 BaTiO<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>/MgO/GaAsの多層構造よりなる本発明の強誘電体薄膜の模式的断面図。

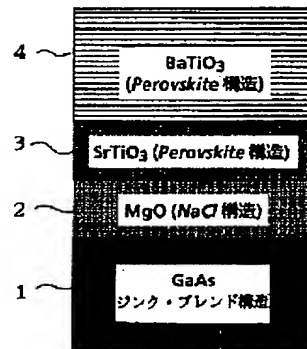
【符号の説明】

1…GaAsよりなる単結晶基板、2…MgO薄膜、3…SrTiO<sub>3</sub>薄膜、4…BaTiO<sub>3</sub>薄膜。

【図2】



【図3】



【図1】

